

# 空港における手荷物カート運用計画問題

2017SS048 中陣健太郎 2017SS076 竹内愛理

指導教員：三浦英俊

## 1 はじめに

日本では観光や仕事などの目的で多くの人々が飛行機を利用する。その中でも中部国際空港は平成 29 年度の国内空港別旅客数は第 8 位であり、国内・国際線合わせて年間 11,446,244 人が利用し、日平均では 31,360 人が利用している [1]。そして、空港では多くの手荷物カートが利用される。中部国際空港では 1 日平均 2,600 台の手荷物カートが利用されており、従業員のカート回収作業はとても大変である。

本研究では、中部国際空港での従業員のカート回収作業の負荷を削減するために、手荷物カートの移動台数を推定するとともに最適運搬経路と最適運搬台数を求めるにはどのようにすればよいかについて考察する。

## 2 研究の背景

空港には、旅客が手荷物を運ぶためのカートが設置されている。カート置き場は飛行機の出発口、到着口や、駐車場など様々な場所に存在し、その各々から旅客がカートを手に取り様々な場所に移動させる。

そのため、空港ではカート置き場のカートが不足しないよう、また大量のカートが 1 箇所に集まり旅客の妨げにならないよう、従業員によって運搬作業が行われている。現在、その作業は従業員が経験に基づきカートの必要台数を決定し、手荷物カート回収整理業務を行っている。今回の研究では、手荷物カートの運搬について、最も運搬回数が少なくなる運搬方法や、最も運搬時間が短くなる運搬方法を探す。

## 3 研究の目的

本研究の目的は、手荷物カートの運搬作業を行っている従業員の作業量削減である。旅客によるカートの需要と、従業員による供給の差を最小限にするには、いつ、どの運搬経路で、何台カートを移動させるのが最も効率的かを求める。これにより、カートの運搬回数や運搬時間を削減させることを目標に研究を進めていく。

## 4 使用データ

以下のデータを、中部国際空港から提供頂いた。

### 4.1 中部国際空港での航空便数

2019 年 1 月 1 日から 2020 年 1 月 31 日までのデータ使用し、そのデータには出発・到着便、国内・国際線、出発・到着時刻、型式が明記されている。

### 4.2 カート回収業務日誌

カート配置台数が国際線到着、国内線到着、バス・タクシー降車場、アクセスプラザ、国際線出発コンコース内、

ターミナル 2 国際線到着、ターミナル 2 バス・タクシー降り場、駐車場の 8 つの配置場所と 8 時、11 時、13 時、16 時、19 時、22 時の 6 つの時間に分けて明記されている。また、カート運搬コースに従業員の担当時間である 7 時～12.5 時、12.5 時～18.5 時、18.5 時～23 時の作業人数、カート移動台数が明記されている。また、カート置き場自体は他にも存在し、文献 [2] より本研究で対象とするカート置き場を以下の図 1 に示す。



図 1 カート置き場の配置図

## 5 業務日誌分析

### 5.1 配置台数から分かる補充台数の変化

まずは、2019 年 12 月の業務日誌の配置台数と補充台数の変化について分析する。

○国際線到着

7:00-12:30：目標配置台数を 200～300 台上回るように補充されており、補充してもすぐ旅客によって利用される。

12:30-18:30：午前と同じ程度目標配置台数を上回るよう補充され、1 日の中で最も利用が多い。

18:30-23:00：目標配置台数を 100～200 台上回るように補充されており、補充台数が比較的少ない。

また、これらは図 2 から読み取れる。

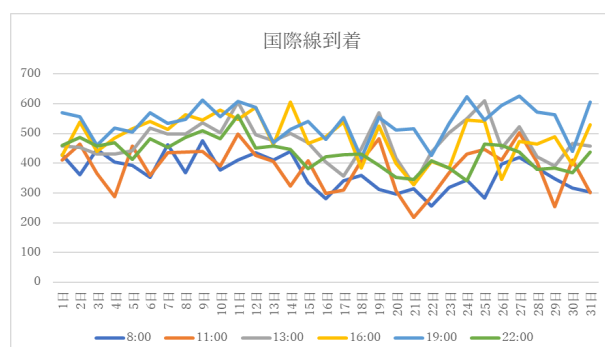


図 2 国際線到着の場合

### ○国内線到着

7:00-12:30：目標配置台数と同数になるように補充されている。また、11:00の台数が8:00の台数を超えているため、約100台のカートが8:00～11:00に補充されている。

12:30-18:30：配置台数の時間帯による変化はほとんどなく、目標配置台数を100台上回るように補充される。

18:30-23:00：目標配置台数に近い台数が補充され、補充台数自体は午前午後とあまり変化していない。

### ○バス・タクシー乗り場

7:00-12:30：目標配置台数を300～400台上回るように補充されており、補充してもすぐに旅客によって利用されてしまう。

12:30-18:30：時間帯に関係なく300台程配置されており、午前と同じ程度目標配置台数を上回るよう補充される。

18:30-23:00：点検時の配置台数が目標配置台数を上回っている。そのため、補充を行っていない日もある。

### ○アクセスプラザ

運搬元にも運搬先にもなっており、補充されるカートより持ち出すカートの台数の方が多い。また、補充後も目標配置台数を達成しておらず、カートの需要が比較的少ないと分かる。

## 5.2 空港発着便数から分かる補充台数の変化

### ○国際線到着

2019年12月の国際線到着便数と補充後の配置台数の関係を表す図3より、どの日も昼間(12:30-18:30)の到着便数が1日の中で一番多いことが分かる。それに伴って、3分の2では移動後配置台数も昼間が一番多いが、残りの3分の1は朝(-12:30)に移動後配置台数が一番多くなっている。また、補充台数は朝、昼、晩の順に多い。

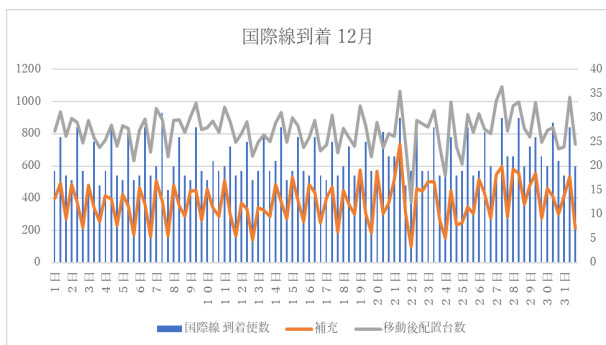


図3 国際線到着

### ○国内線到着

同様に、国内線到着便数との関係を表す図4より、国際線に比べると昼間と夜間の便数の差が小さいが、移動後配置台数はどの日も昼間が一番多いことが分かる。補充台数が1日の中で一番多い時間帯は、日によってばらつきが大きい。しかし、国際線到着に比べると時間帯による変化が小さく、50台以内の場合が多い。

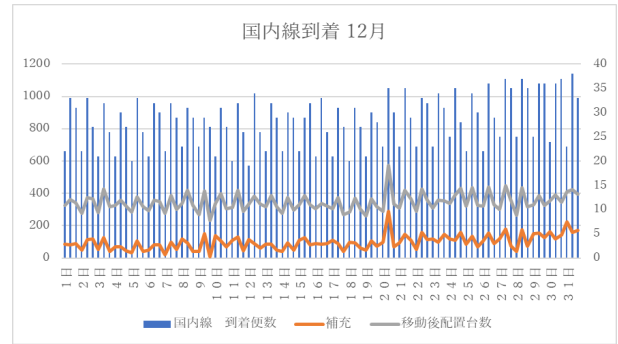


図4 国内線到着

## 6 輸送計画問題

今回の問題を輸送計画問題に当てはめて考える。今回は過去のカート回収業務日誌2019年1月～12月のデータを用いて総運搬時間が削減できるかどうかを輸送計画問題を解いて検証する。

### 6.1 カートの配置場所と運搬経路

まずは、カート回収業務日誌にあるカート配置場所のネットワーク図を作成する。(図5)ターミナル1では、A：国際線出発 B：国内線出発 C：駐車場 D：アクセスプラザ E：国際線到着 F：国内線到着 G：バス・タクシー・一般車降車場がカート配置場所となっている。また、A、Bは3階、C、Dは2階、E、Fは1階、Gは屋外の地上1階に位置している。

ネットワーク図では、業務日誌にて実際に使用されていた運搬経路を元にノード間を結んでいるが、今回の計算では全ての運搬経路を考えるとする。

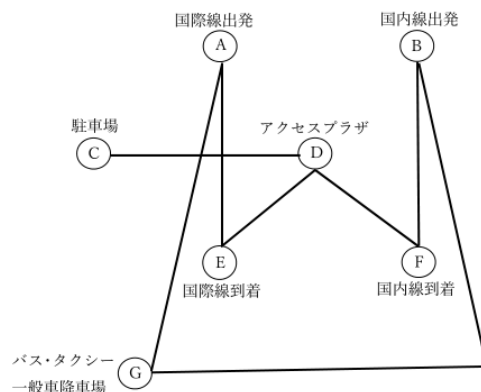


図5 カート置き場のネットワーク図

### 6.2 定式化

エレベーターを含む運搬コースがあるため総運搬距離が最小となる場合が必ずしも効率的であるとは言えないと考え、今回は総運搬時間が最小となる運搬方法を求める。

集合の定義

$$I = \{A, B, C, D, E, F, G\} : \text{カート置き場の集合}$$

パラメータの設定

$a_i$  ( $i \in I$ ) : 持ち出されたカート台数

$b_i$  ( $i \in I$ ) : 集められたカート台数

$d_{ii'}$  ( $i, i' \in I$ ) : 場所  $i$  から場所  $i'$  への 1 回あたりの  
運搬時間

決定変数

$x_{ii'}$  ( $i, i' \in I$ ) : 場所  $i$  から場所  $i'$  への運搬台数

定式化

$$\begin{aligned} \text{目的関数} & \quad \text{minimize} \sum_{i \in I} \sum_{i' \in I} d_{ii'} x_{ii'} \\ \text{制約条件} & \quad \sum_{i' \in I} x_{ii'} \leq a_i \quad (i \in I) \\ & \quad \sum_{i \in I} x_{ii'} \geq b_{i'} \quad (i' \in I) \\ & \quad x_{ii'} \geq 0 \quad (i, i' \in I) \end{aligned}$$

### 6.3 結果と考察

計算結果をグラフに表し、実際の作業時間と比較する。朝・昼・晩のそれぞれの場合について作成し、今回は 1 月の結果を図 6~8 に示す。

朝 7:00~12:30

- 作業時間は 8000 分~10000 分
- 3・9・10・11 月は 7000 分~9000 分, 4・8 月は 9000 分~11000 分
- どの月も約 10 日間作業時間を削減することができる
- 削減率は 1.5~4.0 % の場合が多い

運搬コースは、既存のコース D → F, B → G, D → C は使用せず、新たにコース B → E が使用されており、作業時間が削減できた日はコース B → D, C → C が使用され、その運搬台数は同じである。

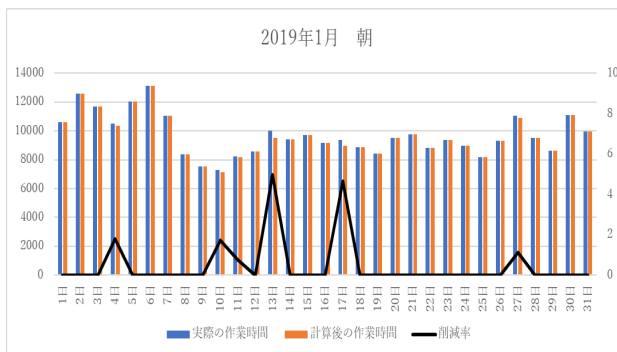


図 6 1 月朝の結果

昼 12:30~18:30

- 作業時間は 6000 分~8000 分
- 9 月は 5000 分~7000 分, 10・12 月は 5000 分~8000 分, 8 月は 7000 分~9000 分
- どの月も約 25 日間作業時間を削減することができる
- 削減率は 1.0 % 前後で, 1.0 % 以下の場合が多い

運搬コースは、既存のコース D → F, B → G, D → C は使用しておらず、特に、作業時間が削減できた日は新たにコース A → F が使用されている。

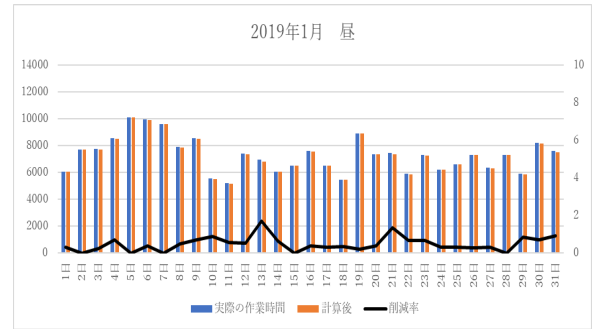


図 7 1 月昼の結果

夜 18:30~23:00

- 作業時間は 3000 分~5000 分, 4000 分前後の日が多い
- 12 月は 1000 分~3000 分, 11 月は 2000 分~4000 分, 8 月は 5000 分~7000 分
- どの月も 4~7 日間作業時間を削減することができる
- 削減率は 1.0 % 前後で, 1.0 % 以下の場合が多い

運搬コースは、既存のコース D → F, B → G, D → C は使用しておらず、作業時間が削減できた日は、新たにコース A → F が使用されている。

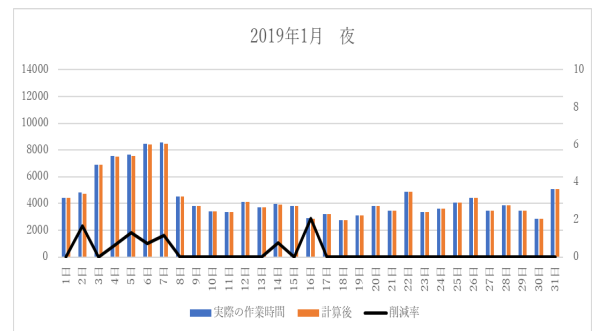


図 8 1 月夜の結果

## 7 時系列解析を用いたカート利用台数予測

時系列解析とは時系列がお互いに相関を持つことを利用して、現在までに得られた情報から今後の変動を予測することである。(北川 [3] 参照) 今回は 2019 年 1 月~12 月のカート回収業務日誌のデータを使用する。目的関数を国内線到着置き場, 国際線到着置き場, バス・タクシー降車場のカート移動台数とし、それぞれの時間帯を朝 (7~12.5 時), 昼 (12.5~18.5 時), 夜 (18.5~23 時) の 3 つに分けて時系列解析を行う。この結果を踏まえ残差分析を行い、予測値と実値にどれだけの誤差が生じるのかを調べる。また、カート移動台数の予測が事前にできるように予測台数の日付の 2 日前からのデータを説明変数として使用する。

### 7.1 国内線到着置き場 (時間帯別)

予測台数を国内線到着置き場のカート移動台数(朝)とする。説明変数は 2 日前の朝から 5 日前の昼の国内線到着置

き場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.47 となった。残差分析では図 9 より、負の値の最大で-308, 正の値の最大で 181 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 14% となった。

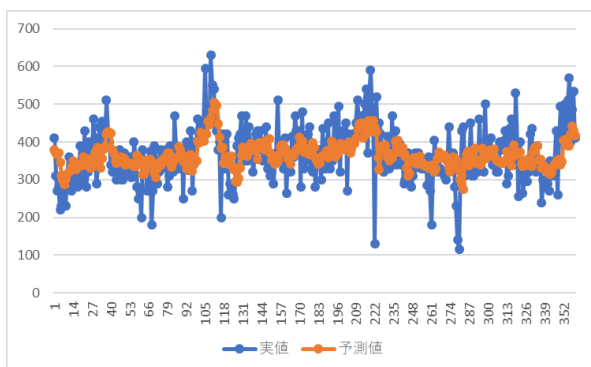


図 9 国内線到着置き場（朝）

予測台数を国内線到着置き場のカート移動台数（昼）とする。説明変数は 2 日前の昼から 5 日前の夜の国内線到着置き場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.38 となった。残差分析では負の値の最大で-300, 正の値の最大で 292 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 19% となった。

予測台数を国内線到着置き場のカート移動台数（夜）とする。説明変数は 2 日前の夜から 4 日前の朝の国内線到着置き場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.33 となった。残差分析では負の値の最大で-68, 正の値の最大で 126 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 88% となった。

## 7.2 国際線到着置き場（時間帯別）

予測台数を国際線到着置き場のカート移動台数（朝）とする。説明変数は 2 日前の朝から 5 日前の昼の国際線到着置き場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.43 となった。残差分析では負の値の最大で-461, 正の値の最大で 478 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 14% となった。

予測台数を国際線到着置き場のカート移動台数（昼）とする。説明変数は 2 日前の昼から 5 日前の夜の国際線到着置き場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.35 となった。残差分析では負の値の最大で-443, 正の値の最大で 1380 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 16% となった。

予測台数を国際線到着置き場のカート移動台数（夜）とする。説明変数は 2 日前の夜から 4 日前の朝の国際線到着置き場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.65 となった。残差分析では負の値の最大で-501, 正の値の最大で 564 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 16% となった。

## 7.3 バス・タクシー降車場（時間帯別）

予測台数をバス・タクシー降車場のカート移動台数（朝）とする。説明変数は 2 日前の朝から 5 日前の昼のバス・タクシー降車場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.34 となった。残差分析では負の値の最大で-319, 正の値の最大で 226 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 15% となった。説明変数は 2 日前の昼から 5 日前の夜の国際線到着置き場のカート移動台数とする。

予測台数をバス・タクシー降車場のカート移動台数（昼）とする。説明変数は 2 日前の昼から 5 日前の夜のバス・タクシー降車場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.42 となった。残差分析では負の値の最大で-475, 正の値の最大で 436 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 14% となった。

予測台数をバス・タクシー降車場のカート移動台数（夜）とする。説明変数は 2 日前の夜から 4 日前の朝のバス・タクシー降車場のカート移動台数とする。その結果、相関係数は 0.53 となった。残差分析では負の値の最大で-306, 正の値の最大で 275 の誤差が生じることが分かった。誤差率の平均では 17% となった。

## 7.4 考察（時間帯別）

以上の結果より、時系列解析でカート移動台数のおおよその予測ができることが分かる。図 9 の横軸 222（8 月 15 日）では誤差率が 46%, 280（10 月 12 日）では 64% の誤差が生じている。マイナスで大幅に誤差が生じるときは台風などの天候により空港の利用者が減ることが原因としてあげられる。また、横軸 109（4 月 24 日）では 35%, 219（8 月 12 日）では 30% の誤差が生じている。プラスで大幅の誤差が生じるときはゴールデンウィークなどの大型の連休が原因としてあげられる。よって、台風や大型の連休時の予測はあまり向かないことが分かる。

## 8 おわりに

今後は、今回作成した予測システムを実際の現場で用いて、作業時間の変化や作業員の負担についてどのように変化したのか調査したい。また、予測システムをより正確なものにするためには、輸送計画問題の部分で経路によってエレベーターの待ち時間を、さらに混雑時と閑散時での運搬時間の違いを考慮する必要があったと考える。

## 参考文献

- [1] 国土交通省:平成 29 年（暦年）空港別順位表  
[https://www.mlit.go.jp/koku/15\\_bf\\_000185.html](https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000185.html) (2020 年 9 月閲覧)
- [2] 中部国際空港公式サイト『フロアマップ』  
<https://www.centrair.jp/map/index.html> (2020 年 12 月閲覧)
- [3] 北川源四郎:『時系列解析入門』, 岩波書店, 2013.